



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08304491 A**(43) Date of publication of application: **22.11.96**

(51) Int. Cl.

G01R 29/08
G01R 27/26
G06F 17/00

(21) Application number: **07104932**(22) Date of filing: **28.04.95**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**

(72) Inventor: **OTSU SHINICHI**
MUKAI MAKOTO

**(54) CALCULATION DEVICE OF INTENSITY OF
 ELECTROMAGNETIC FIELD**

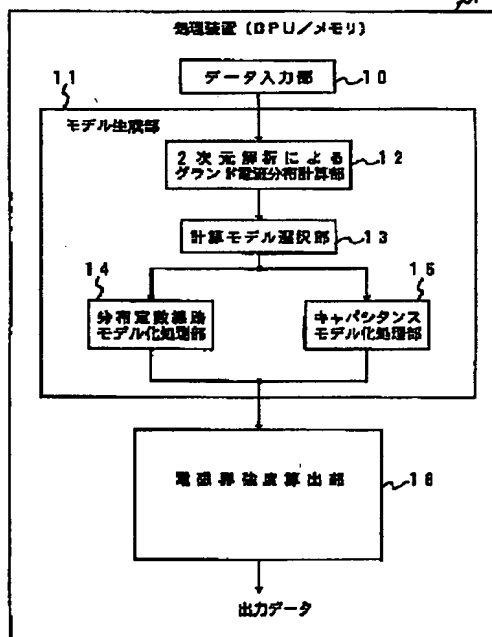
(57) Abstract:

PURPOSE: To make a model of an object to be analyzed capable of enhancing the accuracy of a radiation characteristic by a method wherein a ground current distribution is obtained by a two-dimensional analysis other than a moment method beforehand and the obtained ground current distribution is utilized.

CONSTITUTION: A ground current distribution calculation section 12 by using a two-dimensional analysis obtains a ground current distribution of a ground layer in accordance with structure information of an electric circuitry device to be an object of modeling by the two-dimensional analysis except a moment method, beforehand. Next, a calculation model selection section 13 selects modeling of either a distribution constant line modeling operation section 14 or a capacitance modeling operation section 15. The operation section 14 forms a model wherein current values obtained by a distribution constant line approximation method are assigned to respective wires in accordance with the current distribution obtained by the two-dimensional analysis. The operation section 15 forms a capacitance model in which a characteristic impedance of each of wires is in conformity with that of respective transmission line so that the ground current

distribution calculated by the ground current distribution calculation section 12 by using the two-dimensional analysis is obtained. An electromagnetic field intensity calculation section 16 calculates the electromagnetic field intensity.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-304491

(43) 公開日 平成8年(1996)11月22日

(51) Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 29/08			G 0 1 R 29/08	Z
27/26			27/26	C
G 0 6 F 17/00		9168-5L	G 0 6 F 15/20	D

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-104932

(22) 出願日 平成7年(1995)4月28日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小笠原 吉義 (外2名)

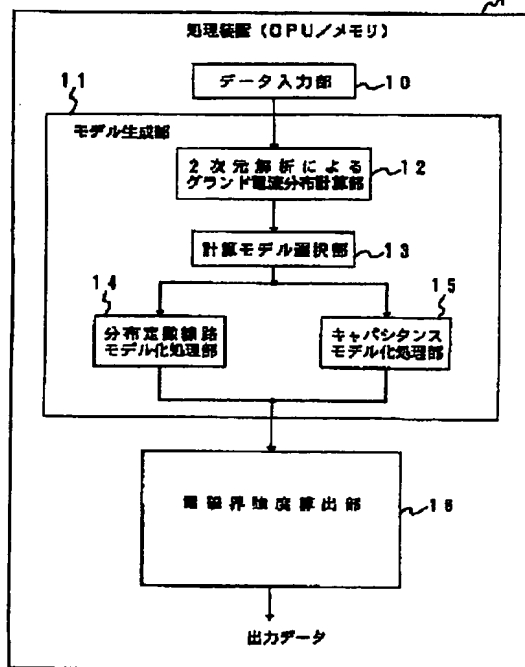
(54) 【発明の名称】 電磁界強度算出装置

(57) 【要約】

【目的】電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、グラウンドに流れる伝送線路のリターン電流の分布の形をあらかじめ求めて利用することにより、放射特性の精度を向上させるモデル化を可能にする。

【構成】2次元解析によるグラウンド電流分布計算部12により、グラウンド電流分布をモーメント法以外の2次元解析で求めておく。得られたグラウンド電流分布を利用して、グラウンドを複数のワイヤーに変換し、各ワイヤーに分布定数線路近似法と2次元解析で求めた電流分布の値を割り付ける。または、2次元解析で求めた電流分布が得られるように、各ワイヤーと伝送線路間の特性インピーダンスを合わせたキャパシタンスモデルを生成し、目的とする電磁界強度を算出する。

本発明の原理構成図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力するデータ入力手段と、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、グラウンド層のグラウンド電流分布を 2 次元解析で求めるグラウンド電流分布計算手段と、求めたグラウンド電流分布を用いて、伝送線路およびグラウンド層をワイヤーもしくはサーフェスパッチまたはコンデンサによってモデル化するモデル生成手段と、前記モデル化した情報に基づいてモーメント法を用いて電気回路装置が放射する電磁界強度を計算する電磁界強度算出手段とを備えたことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の電磁界強度算出装置において、前記モデル化におけるサーフェスパッチを、グラウンド電流分布の変化に応じて、変化の激しい部分はパッチサイズが小さく、変化の緩やかな部分はパッチサイズが大きくなるように分割するようにしたことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 3】 電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力するデータ入力手段と、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、グラウンド層のグラウンド電流分布を 2 次元解析で求めるグラウンド電流分布計算手段と、伝送線路およびグラウンド層を複数のワイヤーまたはサーフェスパッチで表し、グラウンド層に流れるリターン電流のトータルの値を分布定数線路近似法により求め、各ワイヤーまたはサーフェスパッチに、前記分布定数線路近似法で求めた電流値を 2 次元解析で求めた電流分布に従って割り当てたモデルを生成する分布定数線路モデル化処理手段と、前記モデル化した情報に基づいて電気回路装置が放射する電磁界強度を計算する電磁界強度算出手段とを備えたことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項 4】 電気回路装置が放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力するデータ入力手段と、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、グラウンド層のグラウンド電流分布を 2 次元解析で求めるグラウンド電流分布計算手段と、グラウンド層を複数のワイヤーまたはサーフェスパッチで表し、前記 2 次元解析で得られたグラウンド電流分布が得られるように、各ワイヤーまたはサーフェスパッチと伝送線路間との特性インピーダンスを合わせ、その間に存在する誘電体を等価な容量を持つコンデンサに変換したモデルを生成するキャパシタンスモデル化処理手段と、前記モデル化した情報に基づいてモーメント法を用いて電気回路装置が放射する電磁界強度を計算する電磁界強度算出手段とを備えたことを特徴とする電磁界強度算出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、モーメント法等に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、特にグラウンドに流れる伝送線路のリターン電流の分布の形をあらかじめ求めて利用することにより、放射特性の精度を向上させるモデル化を可能にした電磁界強度算出装置に関する。

【0002】電気回路装置から不要放射される電波は、テレビやラジオ等の他の電波と干渉することから、最近、各国で厳しく規制されるようになってきた。このような規制の規格として、日本では VCCI 規格があり、米国では FCC 規格があり、ドイツでは VDE 規格がある。

【0003】このような電波規制を満足させるためには、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術を使う必要があり、これらの対策技術がどの程度電波を減少させるかを定量的にシミュレートする技術が必要となる。このための電磁波解析のシミュレーションには、膨大な計算機の処理時間が必要になるので、高速かつ高精度で電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する装置が要求される。これには、解析対象の適切なモデル化が重要である。

【0004】

【従来の技術】任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流が分かれば、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流値は、理論的には、マックスウェルの電磁波動方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られるが、任意形状物体を対象とした複雑な境界条件の下での直接的な数式解は現在知られていない。

【0005】したがって、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流を求める解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法の代表的なものとして、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という 3 種類のものが知られている。

【0006】微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は平坦なものと仮定して、これを集中定数回路の計算手法で求める方法である。図 6 に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0007】この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実にはほとんど用いられていない。

【0008】また、分布定数線路近似法は、1 次元の構造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間および記憶容量も解析要素数にほぼ比例して増加するだけで、線路の反射や共振等

の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図7に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0009】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0010】一方、モーメント法は、マックスウェルの電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の1つであり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

【0011】このように、モーメント法が3次元の任意形状物体を扱えることから、電磁界強度算出装置では、モーメント法を使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するという構成が有力である。

【0012】このモーメント法を用いる方式では、金属対象物を扱うときには、金属部分を解析対象としてメッシュ化し、分割した金属間の相互インピーダンス Z_{ij} を求め、この相互インピーダンス Z_{ij} と、波源 V_i と、分割した金属に流れる電流 I_i との間に成立するモーメント法の連立方程式

$$[Z_{ij}] [I_i] = [V_i]$$

を解いて電流 I_i を求め、この結果から放射される電磁界強度を算出するという方法を採用。ここで、

「 $[]$ 」はマトリクスを表している。

【参考文献】H.N.Wang, J.H.Richmond and M.C.Gilreath: "Sinusoidal reaction formulation for radiation and scattering from conducting surface" IEEE TRANSACTIONS ANTENNAS PROPAGATION vol.AP-23 1975.

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、モーメント法を用いると、プリント板から筐体まで含めた電気回路装置全体の解析が可能であるものの、解析対象となる装置の規模が大きくなると、計算量が膨大なものとなるために、現在のコンピュータの能力では、実用的な時間内に解析が行うことができないという問題がある。

【0014】一方、前述した分布定数線路近似法では、1次元の構造物として近似できない場合には、原理的に電流を求めることができず、プリント板から筐体まで含めた装置全体の解析ができないという問題がある。

【0015】そこで、本発明者等は、特願平6-27109号において、解析対象の電気回路装置について、分布定数線路近似法の適用可能部分と、適用不可能な部分とに区分して、適用可能な部分については分布定数線路近似法により電流分布を計算し、適用不可能な部分についてはモーメント法により電流分布を算出することにより、計算量を減少させ、計算時間を大幅に短縮する方式を提案している。

【0016】また、従来の電磁界強度算出装置では、モーメント法を用いる際に、電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体についても、そのままメッシュ化する構成を採って、その表面に流れる等価電流および等価磁流を未知数とするモーメント法の連立方程式を導出して解くようにしていた。このため、メッシュの数が多くなることにより、モーメント法の連立方程式を解くのに時間がかかるとともに、メモリ消費量も大きいという問題点があった。

【0017】この問題点を解決するため、本発明者等は、特願平6-95363号において、伝送線路のキャパシタンスモデル化を図り、誘電体を単位長さ当りの容量が、 $\Delta C = C_0 (\epsilon_{eff} - 1)$ で表されるコンデンサに変換して計算する方式を提案している。ここで、 C_0 は誘電体を挟む金属パターンが持つ真空中の単位長さ当りの容量、 ϵ_{eff} は実効誘電率である。

【0018】以上の分布定数線路近似法とモーメント法を結合した方式(特願平6-27109号)、伝送線路のキャパシタンスモデル化の方式(特願平6-95363号)のいずれの方式も、伝送線路に流れる電流などの回路的な面では有効である。しかし、電波の放射特性からみると、グラウンドに流れる伝送線路のリターン電流の分布の形により、電波の放射パターンが大きく変化することが分かってきている。逆に言えば、グラウンド電流分布を正確に表現すれば、放射特性の精度は大幅に向上すると考えられる。

【0019】本発明は以上の点に鑑み、さらに精度の向上を可能にした解析対象のモデル化を実現し、電磁界強度を高精度で計算できるようにする手段を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理構成図である。図中、1はCPUおよびメモリ等からなる処理装置であって、モーメント法等に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する装置である。データ入力部10は、解析対象となる電気回路装置の構造情報を入力する入力手段である。

【0021】モデル生成部11は、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、本発明に係るモデル化を行う処理手段である。モデル生成部11は、2次元解析によるグラウンド電流分布計算部12、計算モデル選択部13、分布定数線路モデル化処理部14およびキャパシタンスモデル化処理部15からなる。

【0022】2次元解析によるグラウンド電流分布計算部12は、モデル化の対象となる電気回路装置の構造情報をもとに、グラウンド層のグラウンド電流分布をモーメント法以外の2次元解析で求める手段である。計算モデル選択部13は、分布定数線路モデル化処理部14によるモデル化を行うか、キャパシタンスモデル化処理部15によるモデル化を行うかを、入力データまたはオペレータ

等の外部からの指示により選択する手段である。

【0023】分布定数線路モデル化処理部14は、伝送線路およびグラウンド層を複数のワイヤーまたはサーフェイスパッチで表し、グラウンド層に流れるリターン電流のトータルの値を分布定数線路近似法により求め、各ワイヤーまたはサーフェイスパッチに、分布定数線路近似法で求めた電流値を2次元解析で求めた電流分布に従って割り当てたモデルを生成する処理手段である。

【0024】キャパシタンスモデル化処理部15は、グラウンド層を複数のワイヤーまたはサーフェイスパッチで表し、2次元解析によるグラウンド電流分布計算部12で計算したグラウンド電流分布が得られるように、各ワイヤーまたはサーフェイスパッチと伝送線路間との特性インピーダンスを合わせ、その間に存在する誘電体を等価な容量を持つコンデンサに変換したモデルを生成する処理手段である。

【0025】電磁界強度算出部16は、分布定数線路モデル化処理部14またはキャパシタンスモデル化処理部15によりモデル化した情報に基づいて分布定数線路近似法またはモーメント法を用いて電気回路装置が放射する電磁界強度を計算する処理手段である。

【0026】モーメント法において、グラウンド層をワイヤーではなくサーフェイスパッチで扱う場合には、グラウンド電流分布の変化に応じて、変化の激しい部分はパッチサイズが小さく、変化の緩やかな部分はパッチサイズが大きくなるように分割する。

【0027】

【作用】本発明では、グラウンド電流分布をモーメント法以外の2次元解析で求めておく。得られたグラウンド電流分布を利用して、次にモーメント法を実施する。一般的に2次元解析は短時間で行うことができるため、解析時間の大幅な増加なしに放射特性の精度向上を図ることが可能になる。

【0028】モーメント法では、金属導体表面を長方形や三角形のパッチに分割して計算する。これをサーフェイスパッチという。サーフェイスパッチでモデル化する場合、2次元解析によって得られたグラウンド電流の変化に応じてサーフェイスパッチのサイズを決定する。変化の激しい部分でパッチサイズを小さくし、緩やかな部分はパッチサイズを大きくすることにより、最適なパッチサイズが得られ、精度が向上する。

【0029】また、分布定数線路によるモデル化において、グラウンド層に流れるリターン電流のトータルの値を分布定数線路近似法により求める。グラウンド電流の分布は、2次元解析で得た形とする。電流分布は複数のワイヤーで表し、各ワイヤーには、分布定数線路近似法と2次元解析で求めた電流分布の値を割り当てる。これをワイヤーに代わってサーフェイスパッチで実現することもできる。

【0030】伝送線路のキャパシタンスモデル化におい

て、2次元解析で得られたグラウンド電流分布が得られるように、各ワイヤーと伝送線路間の特性インピーダンスを合わせる。特性インピーダンスは、各ワイヤーと伝送線路間の距離および各ワイヤーの直径を変えることにより、所望の値を選ぶことができる。ワイヤーに代わってサーフェイスパッチで実現することもできる。

【0031】

【実施例】図2は、本発明の一実施例によるモデル化の例を説明する図である。図2(A)に示すように、グラウンド22と伝送線路20とが距離 h だけ離れている金属要素をモデル化する場合を考える。なお、キャパシタンスモデル化では、グラウンド22と伝送線路20との間に誘電率 ϵ_r の誘電体21が存在するものとする。

【0032】電磁界強度の算出において、グラウンド22の水平方向の電流も分布として考慮に入れるため、図2(B)に示すような2次元の垂直断面を考え、2次元解析によってグラウンド22の水平方向の電流分布を計算する。2次元解析によるグラウンド電流分布の算出法は、各種存在し、モーメント法を用いなくても求めることができる。種々の方法が知られているので、ここでの具体的な計算方法についての詳細については説明を省略するが、短時間の計算が可能である。

【0033】本実施例では、モデル化として分布定数線路モデルとキャパシタンスモデルの2つのモデル化が可能になっている。分布定数線路モデルの場合、図2

(C)に示すように、伝送線路20をワイヤーでモデル化するとともに、グラウンド層22についても複数本のワイヤー22a~22eでモデル化する。なお、本数は任意に決めてよい。本数が多いほど精度はよくなるが、計算時間が長くなる。伝送線路20に1の電流が流れるとすると、ワイヤー22a~22eには、トータルで1の電流が流れるように、電流を分配する。このとき、図2(B)の2次元解析により求めたグラウンド電流分布に従って、各ワイヤー22a~22eにトータル電流値が1になるように割り当てる。図2(C)の例では、伝送線路20に最も近いワイヤー22cに0.4の電流値、ワイヤー22b、22cに0.2の電流値、最も遠いワイヤー22a、22eに0.1の電流値を割り当てている。

【0034】図2(D)に示すように、グラウンド層22をワイヤーで近似するのではなく、サーフェイスパッチ22a'~22e'として扱うこともできる。各サーフェイスパッチ22a'~22e'に流れる電流も、図2(C)に示す場合と同様に、トータルの電流値が1になるように割り当てる。モーメント法を利用する場合、パッチサイズを電流分布に応じて変化させることも有効である。

【0035】伝送線路のキャパシタンスモデル化の場合、図2(E)に示すように、グラウンド層22をワイヤー22a~22eでモデル化し、各ワイヤー22a~2

2eと伝送線路20間の距離、および各ワイヤー22a~22eの直径 $d_1 \sim d_5$ を変えることにより、特性インピーダンスを合わせる。また、伝送線路20とグランド22との間の誘電体21を、等価な容量を持つコンデンサ $C_1 \sim C_5$ に変換してモーメント法の連立方程式の簡略化を図る。この例の場合にも、図2(F)に示すように、ワイヤー22a~22eに変えて、サーフェイスパッチ22a'~22e'として計算する実施例も可能である。

【0036】図3は、本発明の一実施例処理フローチャートである。図中、30は入力データファイルであって、解析対象となる電気回路装置の構造情報等を管理するもの、31は出力データファイルであって、算出結果の電磁界強度を格納するものである。

【0037】電磁界強度算出装置(処理装置1)は、起動されると、最初にステップST0で、入力データファイル30から電気回路装置の構造情報を読み込んで、金属要素や他のデータ(周波数等)を構造体、配列として設定する。

【0038】次に、ステップST1で、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、電波放射を算出するための本発明に係る解析対象部分のモデルの生成・変換を行う。この処理については図4を参照して後述する。

【0039】ステップST2では、処理済の周波数をカウントすることで、登録されている全周波数についての処理が終了したか否かを判断する。終了した場合には電磁界強度算出の処理を終了し、未処理の周波数がある場合には、次に処理する周波数を未処理の中から1つ選択する。

【0040】続いて、ステップST3では、ステップST0で読み込んだ構造情報中の区分標識やステップST1で生成したモデル化情報などから、解析対象が分布定数線路近似法を適用する装置部分であるか、モーメント法を適用する装置部分であるかを判断し、分布定数線路近似法を適用する場合にはステップST4へ、モーメント法を適用する場合にはステップST6へ進む。区分標識により判断するのではなく、解析対象の形状や寸法情報等から直接判断する方法を用いることも可能である。

【0041】ステップST4において、各ワイヤーの入力インピーダンス Z_k ($k=n \sim 1$)を計算する。この入力インピーダンス Z_k ($\equiv Z_{1n}$)の計算は、線路の特性インピーダンスを Z_0 、伝播定数を γ 、線路長を L 、下流側の負荷インピーダンスを Z_L で表すとき、分布定数線路近似法に従い、

$$Z_{1n} = Z_0 \cdot (Z_L \cosh \gamma L + Z_0 \sinh \gamma L) / (Z_0 \cosh \gamma L + Z_L \sinh \gamma L)$$

により算出される。そして、この線路上流に位置する線路の入力インピーダンス Z_{1n} は、算出された下流側線路の入力インピーダンス Z_{1n} を新たに Z_L として用いることで算出されていくことになる。

【0042】例えば、この線路がインピーダンス Z_{1n} 、 Z_{2n} の2本の線路に分岐する場合には、オームの法則に従い、

$$Z_{1n} = (Z_{1n} * Z_{2n}) / (Z_{1n} + Z_{2n})$$

によりインピーダンスが算出される。

【0043】続いて、ステップST5により、ステップST3で分布定数線路近似法を適用する装置部分であると判断された n 個の線路に対して、最上流の線路の持つ波源と、算出された入力インピーダンス Z_k とを用いて、上流側から順番に各線路の電流 $I_k = V_k / Z_k$ ($k=1 \sim n$)を計算する。

【0044】この電流 I_k の計算は、線路の特性インピーダンスを Z_0 、伝播定数を γ 、線路長を L 、線路上流側インピーダンスを $Z_{A_{1n}}$ 、線路の下流側インピーダンスを $Z_{B_{1n}}$ 、線路上流側電流を I_A 、線路の下流側電流を I_B 、線路上流側波源を $V_A (=Z_{A_{1n}} \times I_A)$ で表すならば、分布定数線路近似法に従い、

$$I_B = (V_A \cosh \gamma L + Z_0 \cdot I_A \sinh \gamma L) / Z_{B_{1n}}$$

の式により算出されていくことになる。なお、本実施例におけるステップST4、ST5の計算では、ステップST1において算出した図2(C)等に示す分布定数線路モデルの計算結果を用いることができる。

【0045】また、モーメント法を適用する装置部分については、ステップST6に進み、グリーン関数を使って、ステップST3でモーメント法を適用する装置部分であると判断された m 個の装置部分間の相互インピーダンス Z_{ij} ($i=1 \sim m, j=i \sim m$)を計算するとともに、ステップST3でモーメント法を適用する装置部分であると判断された m 個の装置部分と、ステップST3で分布定数線路近似法を適用する装置部分であると判断された n 個の線路との間の相互インピーダンス Z_{ik} ($i=1 \sim m, k=1 \sim n$)を計算する。

【0046】続いて、ステップST7で、ステップST6で算出した相互インピーダンス Z_{ij} 、 Z_{ik} と、構造情報で指定されたモーメント法の波源である電圧値 V_i ($i=1 \sim m$)と、ステップST5で算出した分布定数線路近似法を適用する装置部分の電流 I_k とを使い、モーメント法の積分方程式を解くことで、モーメント法を適用する装置部分の電流 I_i ($i=1 \sim m$)を算出する。

【0047】ここで、この算出処理にあつて、相互インピーダンス Z_{ik} は、ステップST5で算出した電流 I_k とのマトリクス演算のみに使用されて、電流 I_k がモーメント法の適用装置部分に誘起する波源を算出するためにのみ用いられる。すなわち、従来のように、解析対象となる電気回路装置全体にモーメント法を適用する場合には、「 $(n+m) \times (n+m)$ 」個の相互インピーダンスを用いてモーメント法の積分方程式を解くのに対して、本発明では、「 $m \times m$ 」の相互インピーダンス Z_{ij} のみを用いてモーメント法の積分方程式を解くことにな

る。したがって、高速に積分方程式を解くことができる。なお、相互インピーダンスは対称行列であることから、実際には計算量は半分でよい。

【0048】このようにして、ステップST5で分布定数線路近似法を適用する装置部分の電流 I_k が算出され、ステップST7でモーメント法を適用する装置部分の電流 I_i が算出されると、続くステップST8で、処理済の観測点をカウントすることで、登録されている全観測点についての処理が終了したか否かを判断する。終了していない場合には、ステップST9に進み、ステップST5で算出された電流 I_k と、ステップST7で算出された電流 I_i とを使って、それらの電流 I_k 、 I_i が観測点にもたらす電磁界強度を算出して、その算出結果を出力データファイル31に格納する。その後、ステップST8に戻る。

【0049】すべての観測点について電界、磁界の計算が終了したならば、ステップST2へ戻り、次の周波数について同様に処理を繰り返す。なお、ステップST9における電界、磁界の計算法については、よく知られている方法であるので、ここでの詳細な説明は省略する。

【0050】図4は、図3のステップST1で行うモデル生成部の処理フローチャートである。ステップST11では、入力した電気回路装置の構造情報をもとに、解析対象の中から図2(A)に示すような構造になっている部分を判別して抽出する。このモデルに該当しないものについては、以下のモデル化の対象外とする。ステップST12では、抽出した伝送線路、グラウンドについて、図2(B)に示すような2次元解析によるグラウンド電流分布の計算を行う。

【0051】次のステップST13では、分布定数線路モデルを用いるかキャパシタンスモデルを用いるかの計算モデルの選択を行う。分布定数線路モデルを用いる場合、ステップST14へ進み、キャパシタンスモデルを用いる場合、ステップST20へ進む。

【0052】ステップST14では、まず入力した構造情報から伝送線路のグラウンドパターンを抽出する。そして、ステップST15により、グラウンドパターンの幅と本数、またはグラウンドパターンを線パターンに変換する際のワイヤー径と本数を決定する。ステップST16では、分布定数線路理論によるグラウンドリターン電流のトータルの電流値を計算する。次に、ステップST17では、グラウンドパターンまたは各ワイヤーへ、ステップST16で計算したグラウンドリターン電流を割り付ける。この割り付けでは、ステップST12で求めたグラウンド電流分布の形に従った割り付けを行う。その後、ステップST18では、電流流入部分および流出部分を抽出し、ステップST19により伝送線路グラウンド(リターン)部を生成する。

【0053】一方、キャパシタンスモデルの場合、ステップST20により、まず伝送線路の細線近似を行う。

すなわち、幅 w のストリップラインを直径 d のワイヤーで表現する。次に、ステップST21により伝送線路のグラウンドパターンを抽出し、ステップST22でグラウンドパターンを変換するワイヤー本数を決定する。本数を決定したならば、ステップST23により、各ワイヤー間の特性インピーダンス、ワイヤー径を計算する。また、ステップST24により、伝送線路とグラウンド間の誘電率から各ワイヤー間のコンデンサ容量、個数を計算する。その後、ステップST25では、電流流入部分および流出部分を抽出し、ステップST26で各ワイヤー間にステップST24で計算したコンデンサを接続したモデルを生成する。

【0054】伝送線路のキャパシタンスモデルへの変換例について、図5を参照してさらに詳しく説明する。変換対象として、図5(A)に示すように、幅 w のストリップラインの伝送線路20とグラウンド22が誘電体(ϵ_r)を挟んでいるものの例を説明する。伝送線路20とグラウンド22との距離を h とする。

【0055】図5(B)に示すような第1の等価回路への変換は、次のように行う。まず、幅 w のストリップラインから直径 d のワイヤーへ変換する。伝送線路の特性インピーダンス Z_0 は、以下のとおりである。

【0056】 $Z_0 = 60 \times \ln(8h/w + w/4h)$
幅 w のストリップラインから直径 d のワイヤーへ変換すると、特性インピーダンスは、
 $Z_0 = 60 \times \ln(8h/w + w/4h)$
 $= 60 \times \ln[2h/d + (4h^2/d^2 - 1)^{1/2}]$
(ここで、実効誘電率は除いている)。

【0057】これから、

30 $(4h^2/d^2 - 1)^{1/2} = -2h/d + (8h/w + w/4h)$

この式の両辺を2乗して整理すると、

$d = [4h(8h/w + w/4h)] / [(8h/w + w/4h)^2 + 1]$

さらに、図5(C)に示すような第2の等価回路への変換は、次のようにする。グラウンド22を変換するワイヤーは何本あってもよいが、ここでは説明を簡単にするために3本とする。

【0058】ワイヤー22a', 22b', 22c'間の距離 a は、

40 $k = (1 + a^2)^{1/2}$, k :波数
から求める。

【0059】伝送線路の実効誘電率 ϵ_e は、

$\epsilon_e = (\epsilon_r + 1)/2 + (\epsilon_r - 1)/[2(1 + 0.473h/w)^{1/2}]$

図5(C)に示すような3線路のワイヤー22a' ~ 22c'に変換する手順は、以下のとおりである。

【0060】[手順1] 図5(D)に示すように、3線路の特性インピーダンス Z_{01} , Z_{02} , Z_{03} の並列インピーダンスを、特性インピーダンス Z_0 と等しくする。

〔手順2〕グラウンド電流の分布に合わせて、特性インピーダンス Z_{o1} 、 Z_{o2} の比を求める。この際にあらかじめ2次元解析で求めた図5(F)に示すような電流分布の結果を利用する。図5(F)に示す電流分布から、図5(G)に示す各線路の特性インピーダンスの比は $Z_{o1} : Z_{o2} = 0.5 : 1$ であり、 $Z_{o1} = 2 Z_{o2}$ となる。これらの並列インピーダンスを特性インピーダンス Z_o と等しく

$$Z_{o1} = 60 \times \ln [x_1 + (x_1^2 - 1)^{1/2}] \quad (1式)$$

ここで、 $x_1 = (4h^2 - d^2 - d_1^2) / 2dd_1$ (2式) である。

【0062】①式から、

$$x_1 = [\exp(Z_{o1}/30) + 1] / [2 \exp(Z_{o1}/60)]$$

②式から、

$$d_1^2 + 2x_1 dd_1 + d^2 - 4h^2 = 0$$

$$d_1 = -x_1 d \pm (x_1^2 d^2 + 4h^2 - d^2)^{1/2}$$

(b) ワイヤー22b'の特性インピーダンス Z_{o2} は、

$$Z_{o2} = 60 \times \ln [x_2 + (x_2^2 - 1)^{1/2}]$$

ここで、 $x_2 = (4h^2 - d^2 - d_2^2) / 2dd_2$ である。

【0063】したがって、①式、②式の計算と同様の計算により、

$$x_2 = [\exp(Z_{o2}/30) + 1] / [2 \exp(Z_{o2}/60)]$$

$$d_2 = -x_2 d \pm (x_2^2 d^2 + 4h^2 - d^2)^{1/2}$$

となる。

【0064】(c) ワイヤー22c'の特性インピーダンスは、 Z_{o1} と等しい。

〔手順4〕次に各ワイヤー22a' ~ 22c'のキャパシタンスを求める。

$$C_{o1} = (1/c) [(\epsilon_o - 1) / Z_{o1}]$$

$$C_{o2} = (1/c) [(\epsilon_o - 1) / Z_{o2}]$$

ここで、 c は光速である。

【0065】以上の手順によって、伝送線路20とグラウンド22間の誘電体を、等価な容量を持つコンデンサに変換したキャパシタンスモデルを生成し、モーメント法の連立方程式の簡易化を図ることができる。

するので、

$$1 / [1/Z_{o1} + 1/Z_{o1} + 1/Z_{o2}] = Z_o$$

であり、 $Z_{o2} = 2 Z_o$ 、 $Z_{o1} = 4 Z_o$ となる。

【0061】〔手順3〕次に、直径 d_1 、 d_2 を調整して、各線路の特性インピーダンスを手順2で得られた値に合わせる。なお、実効誘電率 ϵ_o は除いて計算する。

(a) ワイヤー22a'の特性インピーダンス Z_{o1} は、

10 【0066】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、分布定数線路近似法およびモーメント法を用いた電磁界強度の算出において、グラウンド電流分布を正確に表現し、電波放射特性の精度をさらに向上させることができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理構成図である。

【図2】本発明の一実施例によるモデル化の例を説明する図である。

20 【図3】本発明の一実施例処理フローチャートである。

【図4】本発明の一実施例によるモデル生成部の処理フローチャートである。

【図5】本発明の一実施例によるキャパシタンスモデルへの変換例を説明する図である。

【図6】微小ループアンテナ近似法の説明図である。

【図7】分布定数線路近似法の説明図である。

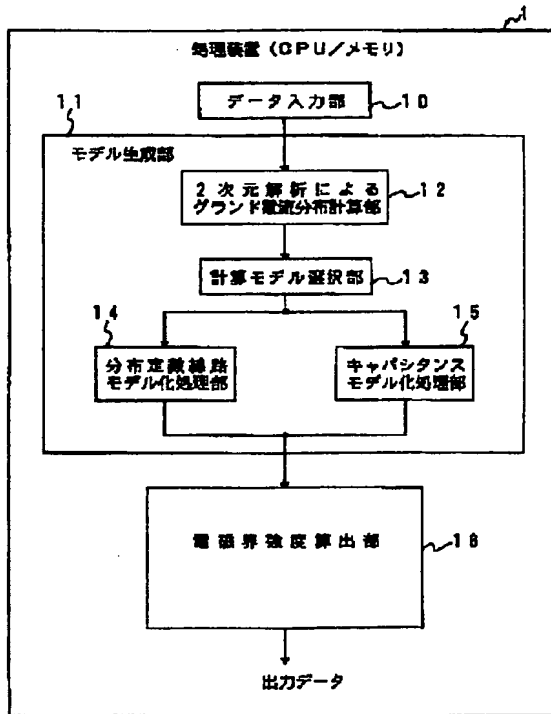
【符号の説明】

- | | |
|----|----------------------|
| 1 | 処理装置 (CPU/メモリ) |
| 10 | データ入力部 |
| 11 | モデル生成部 |
| 12 | 2次元解析によるグラウンド電流分布計算部 |
| 13 | 計算モデル選択部 |
| 14 | 分布定数線路モデル化処理部 |
| 15 | キャパシタンスモデル化処理部 |
| 16 | 電磁界強度算出部 |

30

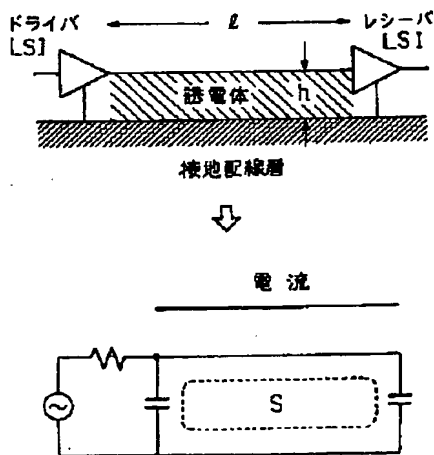
【図 1】

本発明の原理構成図



【図 6】

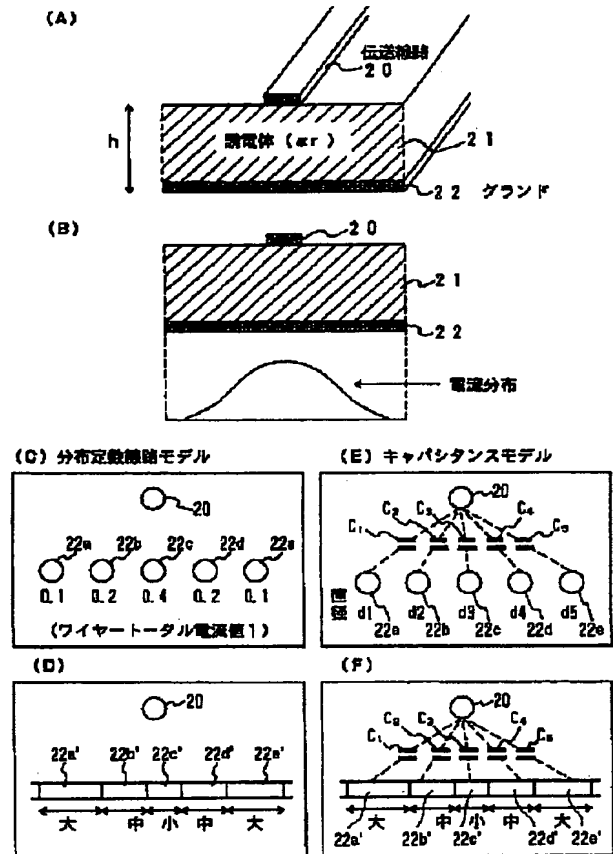
微小ループアンテナ近似法の説明図



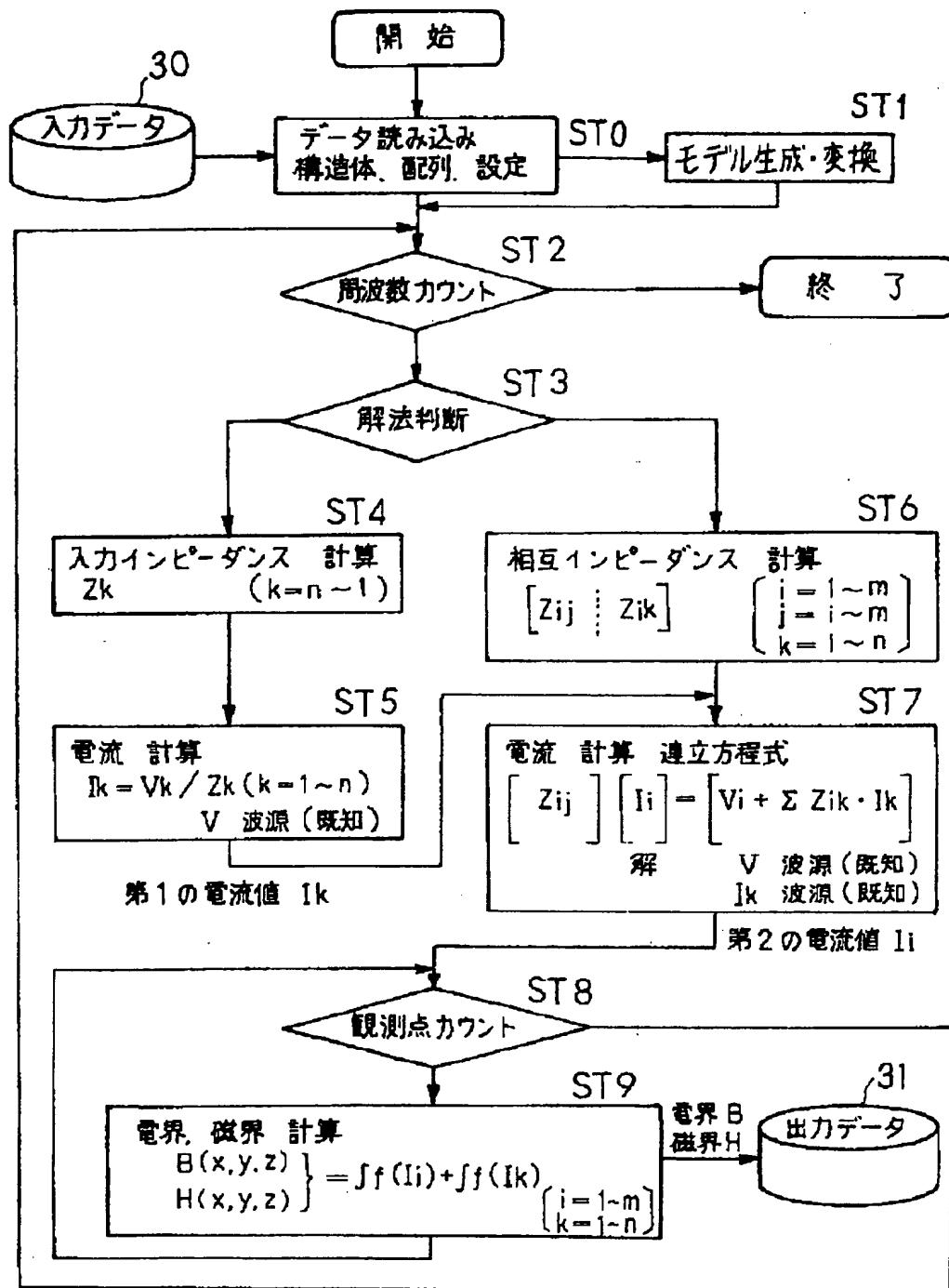
$$\text{電波放射量} \propto \text{周波数}^2 \times \text{電流} \times \text{ループ面積} \quad (\text{一樣})$$

【図 2】

モデル化の例

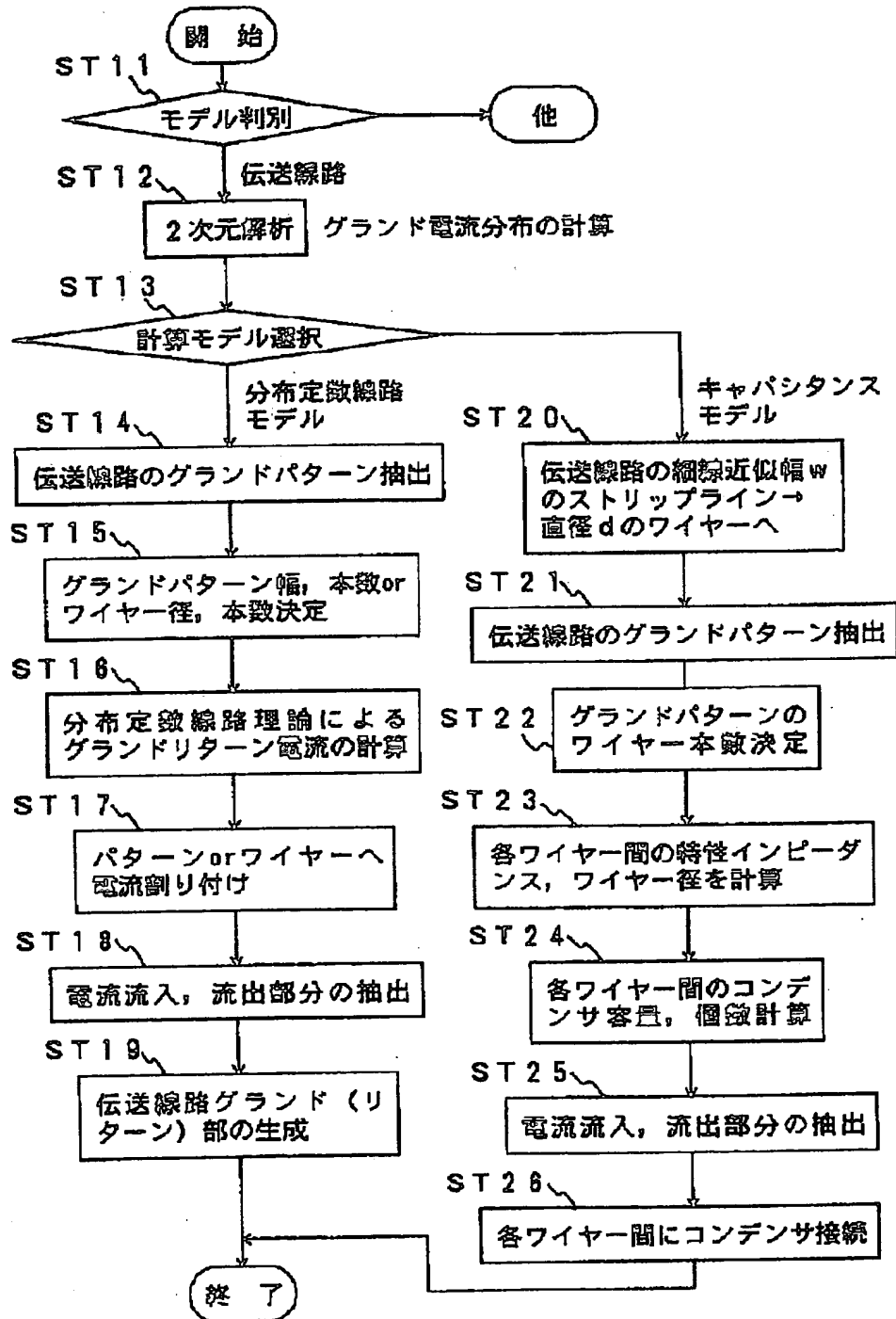


【図 3】

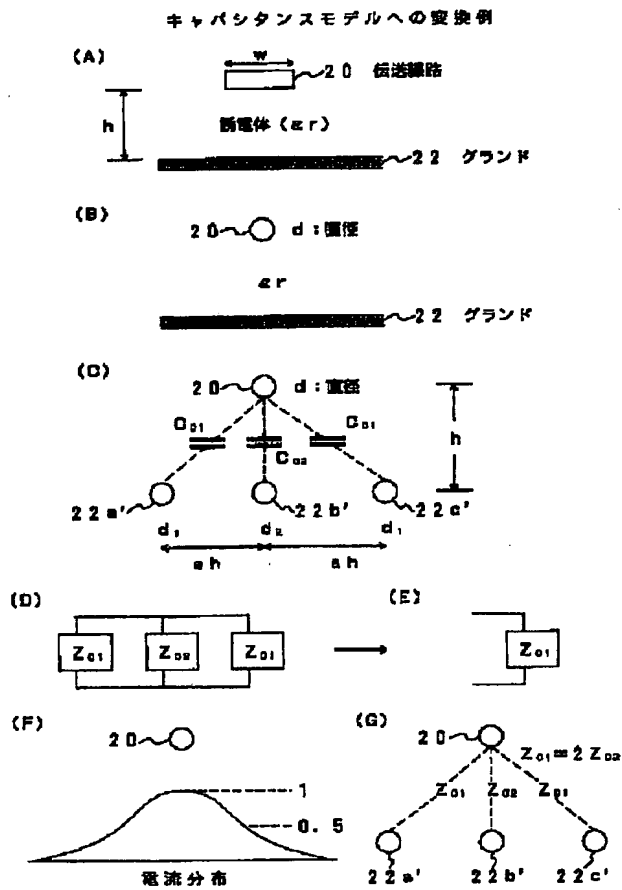


【図4】

モデル生成部の処理フローチャート

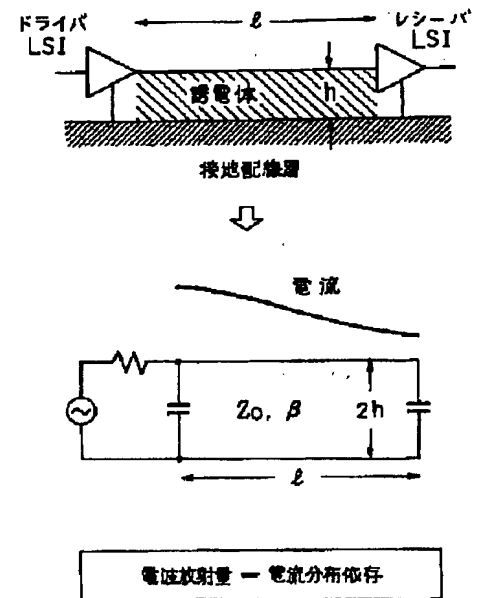


【図 5】



【図 7】

分布定数線路近似法の説明図



THIS PAGE BLANK (USPTO)